

# **TUGAS AKHIR**

## **PIPA BERBAHAN TEMBAGA HASIL DAUR ULANG LIMBAH PEMSINAN YANG DIGUNAKAN PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**FADLY ANDRIANSYAH BATUBARA**  
**1907230128**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

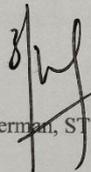
Nama : Fadly Andriansya Batubara  
NPM : 1907230128  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Pipa Berbahan Tembaga Hasil Daur Ulang Limbah Pemasinan Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi Pencemaran Udara  
Bidang ilmu : Konstruksi dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2024

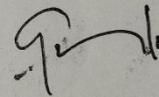
Mengetahui Dan Menyetujui:

Dosen Penguji I



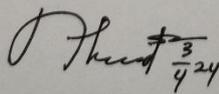
Dr. Suherman, S.T., MT

Dosen Penguji II



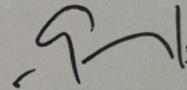
Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T

### LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fadly Andriansyah Batubara  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan 19 April 2001  
NPM : 1907230128  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Pipa Berbahan Tembaga Hasil Daur Ulang Limbah Pemesinan Yang Digunakan Pada Knaipot Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2024



Fadly Andriansyah Batubara

## ABSTRAK

Polusi udara semakin lama semakin meningkat di karenakan tingginya penggunaan kendaraan bermotor, yang populasinya meningkat dari tahun ke tahun sehingga dapat menimbulkan polusi udara sebesar 70 sampai 80%. Tujuan penelitian ini adalah menurunkan kadar emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan bermotor dengan cara memodifikasi saluran gas buang, yaitu dengan memodifikasi bagian dalam knalpot menggunakan pipa berbahan tembaga hasil daur ulang. Penelitian ini membandingkan hasil keluaran gas buang CO, HC dan CO<sub>2</sub> dari knalpot standar dan knalpot modifikasi penambahan pipa berbahan tembaga berdiameter 44mm dan 48mm. Pengujian emisi gas buang menggunakan gas analyzer dengan putaran mesin rata-rata 4500 rpm dengan temperatur mesin 50°C - 91°C. Hasilnya diperoleh bahwa nilai emisi gas buang yang terdapat pada knalpot modifikasi penambahan pipa berbahan tembaga dengan diameter 44mm jika dibandingkan dengan knalpot standar, unsur CO dimenit 10 turun terjadi penurunan hingga 99,75% , menit ke 20 99,84%, menit ke 30 menurun 99,26%, menit ke 40 menurun 99,12%, menit ke 50 menurun 99,12%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,24% pada putaran 4500 rpm, HC terjadi kenaikan 98,3 % , menit ke 20 naik 98,29%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,27%, menit ke 40 99,09% menit ke 50 turun 99,7%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % pada putaran 4500 rpm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa modifikasi knalpot dengan menambahkan pipa berbahan tembaga dapat mengurangi kadar emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Kata Kunci : kendaraan bermotor, gas buang, polusi udara, pipa, tembaga

## **ABSTRACT**

*Air pollution is increasing over time due to the high use of motorized vehicles, the population of which is increasing from year to year so that it can cause air pollution by 70 to 80%. The aim of this research is to reduce the level of exhaust emissions produced by motorized vehicles by modifying the exhaust gas channels, namely by modifying the inside of the exhaust using pipes made from recycled copper. This research compares the results of CO, HC and CO<sub>2</sub> exhaust gas output from standard exhausts and modified exhausts with the addition of copper pipes with diameters of 44mm and 48mm. Exhaust gas emission testing uses a gas analyzer with an average engine speed of 4500 rpm with an engine temperature of 50°C - 91°C. The results showed that the exhaust gas emission value contained in the modified exhaust with the addition of a copper pipe with a diameter of 44mm when compared to the standard exhaust, the CO element at the 10th minute decreased to 99.75%, at the 20th minute it was 99.84%, at the 30th minute it decreased. 99.26%, the 40th minute decreased by 99.12%, the 50th minute decreased by 99.12%, and for the 60th minute the exhaust emissions decreased by 99.24% at 4500 rpm, HC increased by 98.3% , the 20th minute increased by 98.29%, while the 30th minute decreased by 99.27%, the 40th minute 99.09%, the 50th minute decreased 99.7%, and the 60th minute exhaust gas emissions decreased by 99.1 % at 4500 rpm. Thus it can be concluded that modifying the exhaust by adding copper pipes can reduce the level of exhaust emissions in motorized vehicles.*

*Keywords: motor vehicles, exhaust gas, air pollution, pipes, copper*

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Tidakada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun yang jatuh tanpa izin-nya. Alhamdulillah atas izin-nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“PIPA DARI PEMANFAATAN SKRAP TEMBAGA LIMBAH PEMESINAN YANG DIGUNAKAN PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Suherman, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra A Putra Siregar, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.Seluruh Bapak/Ibu Dosen di

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu mengenai teknik mesin kepada penulis.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesin kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Abdul Karim dan Dewi Agusniar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat dan partner penulis: Iwan, Ruly, Sandrean, Aqis dan yang lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik.

Medan,.....

Fadly Andriansyah Batubara  
1907230128

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 Emisi Gas Buang	5
2.1.1 Kandungan Emisi Gas Buang	6
2.1.2 Sumber Polusi Kendaraan Bermotor	7
2.1.3 Rumus Emisi Gas Buang	8
2.1.4 Dampak Gas Buang Kendaraan Bermotor	8
2.1.5 Dampak Pencemaran Udara	9
2.1.6 Dampak Pada Kesehatan	9
2.2. Knalpot	9
2.2.1. Jenis – Jenis Knalpot	10
2.2.2. Bagian Bagian Knalpot	10
2.3 Paduan Tembaga (Cu)	11
2.3.1. Karakteristik Tembaga	12
2.3.2 Skrap Tembaga	13
2.4. Bahan Bakar Minyak (BBM)	14
2.5. Bahan-Bahan Untuk Pembuatan Pola (inti)	15
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>16</b>
3.1 Tempat Dan Waktu	16
3.1.1 Tempat Penelitian	16
3.2 Bahan Dan Alat	16
3.2.1 Bahan penelitian	16
3.2.2 Alat Penelitian	17
3.3 Bagian Alir Penelitian	23
3.4 Rancangan Alat Penelitian	23
3.5 Pembuatan Pipa Tembaga (pengecoran)	24
3.6 Prosedur Pengujian	29
3.6.1 Pengujian	30

3.6.1.1 Pengujian Knalpot Standar	30
3.6.2. Tahapan Pengujian	30
3.6.2.1 Pengujian Knalpot Standar	30
3.6.2.2 Pengujian Knalpot Modifikasi Pipa Tembaga 44mm	33
3.6.2.3 Pengujian Knalpot Modifikasi Pipa Tembaga 48mm	35
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>36</b>
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2.1 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa tembaga diameter 44mm	37
4.2.2 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa tembaga diameter 48mm	44
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ambang Batas Emisi Kendaraan Bermotor	9
Tabel 2.2. Dampak Gas Emisi Terhadap Kesehatan	10
Tabel 2.3. Spesifikasi BBM Pertalite	13
Tabel 3.1. Jadwal dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	14
Tabel 3.2. Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Standar	25
Tabel 3.3. Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Pipa Berongga 44mm	26
Tabel 3.4. Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Pipa Berongga 48mm	26
Tabel 4.1. Hasil pengujian knalpot standar	36
Tabel 4.2. Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa tembaga 44mm	38
Tabel 4.3. Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa tembaga 48mm	38
Tabel 4.4. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang	40
Tabel 4.5. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang	42
Tabel 4.6. Data persentase CO <sub>2</sub> pada emisi dan penurunan emisi gas buang	44
Tabel 4.7. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang	47
Tabel 4.8. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang	49
Tabel 4.9. Data persentase CO <sub>2</sub> pada emisi dan penurunan emisi gas buang	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Header Knalpot	11
Gambar 2.2. Resonator Knalpot	12
Gambar 2.3. Silencer Knalpot	12
Gambar 2.4. Skrap Tembaga	15
Gambar 3.1. Leptop yang dilengkapi dengan <i>software solidworks</i>	17
Gambar.3.2. Sepeda motor Honda Beat	19
Gambar 3.3. Mesin las Asetilin	19
Gambar 3.4. Gas Analyzer	20
Gambar 3.5. Probe	20
Gambar 3.6. <i>Scanner Fi</i>	20
Gambar 3.7. Anemometer	21
Gambar 3.8. Diagram alir penelitian	22
Gambar 3.9. Rancangan Bagian Dalam Knalpot	23
Gambar 3.10. Knalpot Standar Beat	24
Gambar 3.11. Proses pembelahan knalpot	25
Gambar 3.12. Bagian dalam resonator knalpot standar	25
Gambar 3.13. Core (inti)	26
Gambar 3.14. Pembuatan Cetakan	26
Gambar 3.15. Pembuatan Inti (Rongga)	27
Gambar 3.16. Penuangan logam cair kedalam cetakan	27
Gambar 3.17. Pipa tembaga yang sudah dicetak	28
Gambar 3.18. Proses pembubutan	28
Gambar 3.19. Pipa berongga dari pemanfaatan skrap tembaga	29
Gambar 3.20. Knalpot standar yang telah dimodifikasi	29
Gambar 3.21. Sepeda Motor Beat	31
Gambar 3.22. Socket DLC ( data link conector)	31
Gambar 3.23. Pengukuran rpm dengan <i>Fi Scanner</i>	32
Gambar 3.24. Pengukuran kecepatan angin gas buang	32
Gambar 3.25. Pengujian emisi gas buang dengan menggunakan Gas Analyzer	33
Gambar 3.26. Knalpot modifikasi menggunakan pipa tembaga 44mm	33
Gambar 3.27. Proses pemasangan knalpot	34
Gambar 3.28. Pengukuran rpm dengan <i>Fi scanner</i>	34
Gambar 3.29. Pengukuran kecepatan angin gas buang	34
Gambar 3.30. Pengujian pada kenalpot modifikasi	37
Gambar 3.31. Knalpot modifikasi menggunakan pipa tembaga 48mm	35
Gambar 4.1. Grafik model knalpot standar dengan CO yang di hasilkan	36
Gambar 4.2. Grafik model knalpot standar dengan HC yang di hasilkan	37
Gambar 4.3. Grafik model knalpot standar dengan CO <sub>2</sub> yang di hasilkan	37
Gambar 4.4. Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan	41

Gambar 4.5. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan	43
Gambar 4.6. Grafik model knalpot dengan CO <sub>2</sub> yang dihasilkan	45
Gambar 4.7. Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan	48
Gambar 4.8. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan	50
Gambar 4.9. Grafik model knalpot dengan CO <sub>2</sub> yang dihasilkan	53

## DAFTAR NOTASI

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
CO	Karbon Monoksida	%
HC	Hydrocarbon	ppm
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida	%
NO <sub>x</sub>	Nitrogen Monoksida	%
O <sub>2</sub>	Oksigen	%
H <sub>2</sub> O	Uap Air	%
n	Putaran Mesin	Rpm
SO <sub>x</sub>	Oksida-oksida Sulfur	%
NO <sub>x</sub>	Oksida-oksida Nitrogen	%
Pb	Partikulat dan Timbal	%
SO <sub>2</sub>	Sulfur Oksida	%
NO	Nitrogen Oksida	%

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia kendaraan bermotor meningkat jumlahnya dari tahun ke tahun, gas buang yang di timbulkan dari kendaraan bermotor tersebut menimbulkan polusi udara sebesar 70 sampai 80 persen, sedangkan pencemaran udara akibat industri hanya 20-30 persen saja. Banyak polusi udara terjadi di mana-mana yang disebabkan oleh banyak hal antara lain : asap kendaraan, asap pabrik, pembakaran sampah dan sebagainya. Asap kendaraan merupakan penyebab terbesar terjadinya polusi udara yang disebabkan oleh emisi gas buang karena perkembangan teknologi pada berbagai bidang khususnya di bidang transportasi dewasa ini, mengakibatkan jumlah kendaraan bermotor dengan berbagai jenis dan merk meningkat cukup tinggi. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang ada disebabkan semakin tingginya aktivitas masyarakat yang sangat membutuhkan serana transportasi untuk kelancaran aktivitas mereka (Maryanto, Mulasari, & Suryani, 2014)

(Yudhantoko, 2008) menyatakan bahwa senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk menjalankan kendaraan bermotor. Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi, dan faktor lain. Walaupun gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi didalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membahayakan. Gas buang membahayakan kesehatan maupun lingkungan.

Beberapa senyawa dinyatakan dapat membahayakan kesehatan termasuk diantaranya yaitu (Rachmadhi, 2014) :

- a. Karbon Monoksida (CO) adalah hasil dari pembakaran yang tidak lengkap karena jumlah udara yang tidak cukup pada campuran bahan bakar dan

udara atau tidak cukupnya waktu pada siklus untuk menyelesaikan pembakaran.

- b. Hidrokarbon (HC) adalah polutan udara yang berupa gas, cairan atau padatan karena dilepaskan ke udara secara langsung. HC dalam jumlah sedikit tidak begitu membahayakan kesehatan manusia, walaupun HC juga bersifat toksik. Sifat toksin HC akan lebih tinggi kalau berupa bahan pencemar gas, cairan dan padatan. Hal ini karena padatan HC (partikel) dan HC cairan akan membentuk ikatan-ikatan baru dengan bahan pencemar lainnya. Ikatan baru ini disebut sebagai Polycyclic Aromatic.

Berdasarkan pendapat para ahli di atas maka dapat disimpulkan bahwa Emisi gas buang adalah suatu hasil proses pembakaran dalam mesin yang dihasilkan oleh kendaraan dimana gas buang tersebut ada yang berbahaya/ beracun contohnya karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan nitrogen monoksida (NO<sub>x</sub>) dan ada juga yang tidak berbahaya seperti nitrogen (N), oksigen (O<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) (Muhammad, Amin, & Sugiarto, 2018)

Mengingat bahaya emisi gas buang tersebut, maka perlu usaha-usaha untuk mengendalikan dan mengurangi pencemaran udara agar dampak negatif bagi Manusia dapat dikurangi dan diminimalkan sesuai dengan program Environment Sustainable Transportation (EST) atau lebih dikenal dengan transportasi ramah lingkungan ada 12 program atau pendekatan yang bisa dilakukan untuk mengurangi permasalahan polusi udara yang bersumber dari sektor transportasi, salah satunya adalah Vehicle Emissions Control yang akan menjadi fokus kajian penelitian. Salah satu teknologi rekayasa sebagai wujud dari Vehicle Emission Control adalah modifikasi saluran gas buang, (Irawan, 2012)

Katalitik konverter merupakan alat yang mampu menyelesaikan masalah di atas akan tetapi harga dari katalitik konverter itu sendiri masih tergolong cukup mahal sehingga masyarakat sedikit sulit untuk membelinya. Karena menurut (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2006) Ambang batas emisi kendaraan bermotor untuk sepeda motor 4 langkah adalah 5.5 % untuk senyawa Carbon monoksida (CO), dan 2400 ppm untuk senyawa Hidrokarbon (HC), Maka dari itu dilakukanlah penelitian ini yang mana akan merancang suatu alat yang

mampu menurunkan emisi gas buang namun dengan harga yang dapat dijangkau oleh masyarakat umum.

Ada beberapa macam metode dan teknik yang bisa dilakukan antara lain dengan memodifikasi beberapa bagian dari kendaraan bermotor. Pendekatan yang biasanya dilakukan dan dipakai dalam mengurangi gas buang kendaraan bermotor antara lain: modifikasi mesin, modifikasi penggunaan bahan bakar atau system 2 bahan bakarnya, modifikasi saluran gas buang, yaitu melakukan inovasi pada knalpot dengan memodifikasi bagian dalam menggunakan pipa tembaga sebagai resonator knalpot.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pipa berbahan paduan tembaga hasil daur ulang mampu mereduksi emisi gas buang sepeda motor menggunakan bahan bakar pertalite. Penelitian ini diharapkan dapat membantu problem mengatasi pencemaran udara dengan pendekatan dan pemanfaatan teknologi rekayasa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang ini, pertanyaannya adalah bagaimana cara mengurangi jumlah gas berbahaya seperti CO, HC dan CO<sub>2</sub>, yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor, dan bagaimana penggunaan resonator yang sudah dimodifikasi menggunakan pipa yang dibuat dengan mendaur ulang limbah tembaga akan mempengaruhi gas buang kendaraan bermotor

## 1.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini akan membahas ruang lingkup masalah berkaitan :

1. Pengujian dilakukan untuk mencari hasil emisi gas buang kendaraan bermotor knalpot standar sebagai data pembandingan.
2. Pengujian dilakukan untuk mencari hasil emisi gas buang kendaraan sepeda motor dengan knalpot yang sudah di tambahkan pipa dari pemanfaatan skrap tembaga sebagai resonator dari limbah pemesinan yang merupakan hasil modifikasi.
3. Pengujian emisi gas buang knalpot modifikasi menggunakan pipa berbahan tembaga berdiameter 44mm dan 48mm.

4. Kecepatan putaran mesin diatur hingga  $\pm 4500$  rpm.
5. Bahan bakar penelitian menggunakan pertalite.

#### 1.4 Tujuan

Sesuai dengan paparan diatas, penelitian ini bertujuan :

1. Mendaur ulang skrap tembaga limbah pemesinan sebagai resonator knalpot sepeda motor melalui proses pengecoran.
2. Menganalisa apakah tembaga dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO), Hidrocarbon (HC), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada emisi gas buang kendaraan melalui proses reaksi oksidasi.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang di peroleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menamba wawasan penulis dalam memahami pengaruh dari penggunaan pipa berongga sebagai resonator terhadap kandungan emisi gas buang dan di harapkan penulis dapat mengaplikasi ilmu yang didapat selama kegiatan perkuliahan
2. Memberikan referensi bagi pengguna kendaraan bermotor dengan penambahan pipa tembaga sebagai resonator pada saluran gas buang dalam sepeda motor yang dapat mengurangi kadar emisi gas buang.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan. Terdapat emisi pokok yang dihasilkan kendaraan (Siswantoro, Lagiyono, 2009)

Gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Gas yang menjadi polusi tersebut kebanyakan merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara disekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar Nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon yang juga mengandung unsur lain yang terikat kedalamnya. Besarnya kontribusi pencemaran udara yang disebabkan dari sektor transportasi khususnya pada emisi kendaraan bermotor menimbulkan masalah dalam pemeliharaan kualitas udara. Proses pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna dalam kendaraan bermotor menghasilkan unsur-unsur kimiawi yang mencemari udara. Unsur-unsur kimiawi tersebut meliputi Karbon Monoksida (CO), Oksida-oksida sulfur (SO<sub>x</sub>), Oksida-oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), Partikulat dan Timbal (Pb) (Wakhid, 2018).

Zat kimia tersebut dalam jumlah yang berlebih dapat menyebabkan perubahan tatanan komposisi udara normal di lingkungan. Perubahan tersebut menimbulkan pencemaran udara dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Senyawa karbon yang berlebih di atmosfer dapat menyebabkan pemanasan global. Emisi gas buang akan terus mengalami peningkatan seiring dengan laju pertumbuhan kendaraan bermotor. Meningkatnya kendaraan bermotor yang beroperasi menyebabkan semakin banyak emisi gas buang yang dikeluarkan. Kondisi tersebut, menyebabkan peningkatan konsentrasi pencemarnya dan

dikhawatirkan membahayakan kesehatan manusia. Penyakit yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan bermotor adalah gangguan saluran pernafasan, gangguan organ dalam, gangguan syaraf, gangguan reproduksi, menurunkan kecerdasan anak serta dapat menimbulkan kematian (Muziansyah, Sulistyorini, & Sebayang, 2015)

#### 2.1.1 Kandungan Emisi Gas Buang

Menurut (Syahrani, 2006) kandungan emisi pada gas buang meliputi:

##### 1. CO<sub>2</sub> (Karbon Dioksida)

Gas CO<sub>2</sub> merupakan gas yang tidak berwarna maupun berbau, CO<sub>2</sub> didapat dari perpaduan bahan bakar dan oksigen yang seimbang sehingga menghasilkan CO<sub>2</sub>.

##### 2. CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas yang diperoleh karena perbandingan antara bahan bakar dan udara yang tidak seimbang. Terlalu banyak bahan bakar atau unsur C tidak dapat berikatan dengan O<sub>2</sub> sehingga terbentuklah CO karena pembakaran yang tidak sempurna.

##### 3. SO<sub>2</sub> (Sulfur Oksida)

Bahan bakar gasoline / bensin mengandung unsur belerang (Sulfur). Pada saat terjadi reaksi pada pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfur oksida.

##### 4. NO (Nitrogen Oksida)

Gas ini terjadi akibat adanya panas yang tinggi pada proses pembakaran sehingga kandungan nitrogen bereaksi dengan udara sehingga berubah menjadi NO<sub>x</sub>.

##### 5. H<sub>2</sub>O

H<sub>2</sub>O merupakan hasil dari reaksi pembakaran pada ruang bakar. Kadar air yang keluar dari ruang pembakaran mengindikasikan sejauh mana kualitas bahan bakar yang digunakan. Semakin besar uap air yang dihasilkan maka, semakin bersih emisi yang dihasilkan.

##### 6. HC (Hidro Karbon)

Gas Hidro Karbon terjadi karena pembakaran yang berlangsung tidak sempurna pada ruang bakar. Aroma yang dihasilkan dari gas tersebut sangat tajam dan berwarna hitam.

#### 7.Pb ( Timbal )

Pada reaksi pembakaran , timbal tidak bereaksi dan menjadi timah hitam saat keluar dari proses pembakaran.

#### 8.Partikulat

Partikulat dihasilkan dari residu bahan bakar yang tidak ikut terbakar pada ruang bakar dan keluar melalui gas buang kendaraan. Partikel tersebut ukurannya sekitar 10 mikrometer sehingga mudah untuk masuk ke dalam saluran pernafasan. Sedangkan ukuran yang lebih kecil, dapat membuat iritasi pada mata.

### 2.1.2 Sumber Polusi Kendaraan Bermotor

Menurut (Siregar, Siregar, & Yani, 2019) Ada empat sumber polusi yang berasal dari kendaraan bermotor yaitu:

1. Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85%) dan mengeluarkan hidro karbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam nitrogenoksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO) dan campuran alkohol, aldehida, keton, penol, asam, ester, ether, epoksida, peroksida dan oksigen yang lain.
2. Bak oli adalah sumber kedua (20%) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak.
3. Tangki dan bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5%).
4. Karbulator adalah faktor lainnya, terutama saat berkendara pada posisi kondisi macet dengan cuaca panas,dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10%)

Tabel 2.1 Ambang Batas Emisi Kendaraan Bermotor (Kemen LH No.5 tahun, 2006)

Katagori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode
		CO (% VOL)	HC (ppm)	uji
Sepeda motor 2 Langkah	< 2010	4,5	12000	Ildc
Sepeda motor 4 Langkag	< 2010	5,5	2400	Ildc
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥ 2010	4,5	2000	Idle

### 2.1.3 Rumus Emisi Gas Buang (Siregar et al., 2019)

1. Rumus mencari nilai rata rata emisi gas buang

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\text{jumlah nilai}}{\text{banyaknya data}} \quad (1)$$

2. Rumus Presentase

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan tembaga}}{\text{rata rata emisi tanpa tembaga}} \times 100 \% \quad (2)$$

3. Rumus Presentase Penurunan Emisi

$$\text{Presentase menurut emisi} = 100\% - \text{presentase emisi} (\%) \quad (3)$$

### 2.1.4 Dampak Gas Buang Kendaraan Bermotor

Dampak yang ditimbulkan akibat adanya emisi gas, apabila salah satu zat yang dikeluarkan dari adanya sisa pembakaran kendaraan bermotor adalah gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Karbon dioksida sendiri apabila diabaikan terus menerus kemudian akan terakumulasi di atmosfer dan berpotensi menyebabkan pemanasan global dan dalam jangka panjang akan mengakibatkan perubahan iklim yang berbahaya bagi kehidupan manusia. Secara langsung dan tak langsung emisi menyumbang lebih dari 35% terhadap pemanasan global dan sejalan dengan emisi CO<sub>2</sub> yang dari waktu ke waktu yang terus meningkat. Lebih lanjut emisi gas buang juga memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia dan gangguan metabolisme tubuh. (Sadyah & Yogyakarta, 2019)

### 2.1.5 Dampak Pencemaran Udara

Emisi gas buang kendaraan ini merupakan kontributor utama pencemaran udara yang terjadi saat ini. Pencemaran udara dapat di definisikan sebagai kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan atau merusak properti. Beberapa definisi gangguan fisik seperti polusi suara, panas, radiasi, atau polusi cahaya dianggap sebagai polusi udara. Gas-gas yang terkandung dalam emisi gas buang kendaraan inilah yang membahayakan kesehatan manusia terutama kesehatan saluran pernafasan. Definisi lain menyebutkan bahwa pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia kedalam lingkungan udara normal yang mencapai jumlah tertentu sehingga dapat dideteksi (dihitung atau diukur) oleh manusia serta memberikan dampak pada manusia, binatang, maupun tumbuhan. (Decy Arwini, 2020)

### 2.1.6 Dampak Pada Kesehatan

Tabel 2.2 Dampak gas emisi terhadap kesehatan WHO Europe 2004 (Siregar et al., 2019)

Pencemaran	Dampak
CO(Carbon Monoksida)	Mengganggu konsentrasi dan refleksi tubuh, menyebabkan kantuk, dan dapat mempengaruhi penyakit kardiovaskular akibat defenisi oksigen. CO mengikat hemoglobin sehingga jumlah oksigen dalam darah berkurang
CO <sub>2</sub> (Carbon Dioksida)	Meningkatkan risiko penyakit paru-paru dan menimbulkan batuk pada pemajanan singkat dengan konsentrasi tinggi.
HC (Hidrokarbon)	Menimbulkan iritasi mata,batuk, rasa mengantuk, bercak kulit, dan perubahan kode genetic
NOx	Meningkatkan total mortalitas, penyakit kardiovaskular, mortalitas pada bayi, serangan asma, dan penyakit paru-paru kronis.

### 2.2. Knalpot

Knalpot itu bukan semata fungsinya menyalurkan sisa pembakaran. Knalpot masih satu kesatuan dari proses langkah buang. Pada knalpot inilah, efek turbulensi terus menerus terjaga. Dengan knalpot, aliran turbulensi gas buang diubah jadi gaya pendorong piston. Fungsi lain knalpot sebagai peredam getaran.

Getaran akibat naik turun piston dari kepala silinder diteruskan ke bodi knalpot, rangka dan sasis, sehingga getaran mesin tidak keterlaluan. (Siregar et al., 2019).

### 2.2.1. Jenis – Jenis Knalpot

Menurut (Syaief, Norsujianto, Maulana, & Maknunah, 2015) jenis knalpot ada dua antara lain:

1. Knalpot chamber, konstruksi knalpot chamber seperti knalpot standar, knalpot jenis ini baik pada putaran bawah.
2. Knalpot free flow, konstruksi dari knalpot free flow baik bekerja pada mesin dengan putaran tinggi. Knalpot jenis ini sistem pelepasan gas buang lebih ringkas dan singkat turbulensinya, sehingga dikenal dengan sistem pembuangan los (free flow).

### 2.2.2. Bagian Bagian Knalpot

Knalpot sendiri pada kendaraan bermotor terdiri dari beberapa bagian. Berikut Ini adalah beberapa bagian dari knalpot pada kendaraan bermotor:

#### 1.Header knalpot

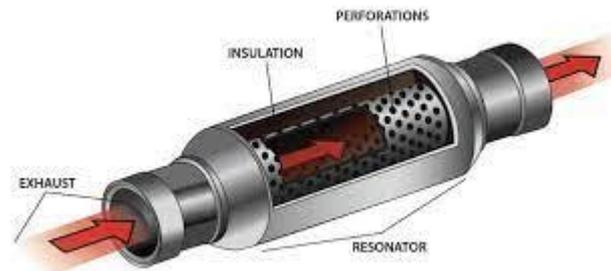
Gambar di bawah ini merupakan bagian ujung knalpot yang dipasangkan kepada mesin. Jumlah header pada knalpot sangat tergantung dengan berapa banyak jumlah silinder yang diperlukan atau dimiliki oleh mesin kendaraan. header atau lebih dikenal dengan leher knalpot. Header jadi bagian pertama yang menyalurkan gas hasil pembakaran dari mesin. Jadi, header ini diameter, panjang dan lekukannya enggak boleh sembarangan. Sebab, mempengaruhi langsung ke tenaga yang dihasilkan mesin.(Motorplus, n.d.)



Gambar 2.1 Header Knalpot (Prasetyo & Mukhtar, 2022)

#### 2. Resonator Knalpot

Gambar di bawah ini adalah resonator Knalpot atau yang biasa kita kenal dengan nama saringan knalpot. Resonator banyak dimiliki oleh kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengolah bunyi bising yang dihasilkan oleh hasil pembakaran mesin. (Taufik, n.d.)



Gambar 2.2 Resonator Knalpot (Taufik, n.d.)

### 3. Silencer Knalpot

Gambar dibawah ini adalah silencer knalpot sepeda motor, silencer juga memiliki fungsi yang mirip dengan resonator, untuk membantu meminimalisir suara bising yang dihasilkan oleh hasil pembakaran dari kendaraan bermotor. Silencer biasa diletakkan pada bagian ujung knalpot. Pada kendaraan bermotor roda dua, biasanya silencer juga berisi saringan yang berfungsi sebagai resonator, sedangkan pada roda 4 biasanya resonator berada di bagian kolong mobil, sedangkan silencer berada terpisah. (Suzuki, 2021)



Gambar 2.3 Silencer Knalpot (Suzuki, 2021)

### 2.3. Paduan Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat. Melebur pada 1038° C. Karena potensial standarnya positif, (+0,34 V untuk pasangan Cu/ ), ia tak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer, meskipun dengan adanya oksigen tembaga bisa larut sedikit. Sedangkan Menurut pendapat Suhardi (1998 : 47) “Tembaga memiliki sifat-sifat antara lain : berat jenisnya 8,9 , titik lelehnya sampai 1083° C, mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik, dan tahan pengaruh udara lembab karena melindungi diri dengan karbonat tembaga (Svehla, 1990)

Tembaga murni jarang dipergunakan, kecuali untuk keperluan alat-alat listrik atau alat penukar panas. Ini disebabkan antara lain karena harganya yang cukup mahal dan kekuatannya tidak begitu tinggi. Tembaga biasanya digunakan dalam bentuk paduan. Tembaga memang mudah membentuk paduan dengan logam-logam lain. *Alloy* utamanya adalah *perunggu* (dengan seng) dan *kuningan* (dengan timah). Ada pula *alloy* lain misalnya aluminium-kuningan, tembaga-berilium. (Krom et al., 2010)

Salah satu bahan yang dapat mengurangi kandungan karbon monoksida yaitu tembaga (Cu). Tembaga dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO) pada emisi gas buang kendaraan melalui proses reaksi oksidasi. Salah satu pengolahan tembaga untuk mengurangi kadar CO pada knalpot merupakan pemilihan material yang mudah didapat. Selain penggunaan tembaga untuk mereduksi kadar emisi gas buang CO. Adanya karbon aktif dari pengolahan limbah biomassa dapat dimanfaatkan sebagai bahan modifikasi tembaga untuk lebih efektif fungsinya. Karbon aktif merupakan adsorben yang dapat menyerap fluida gas, maka adsorben pada tembaga dapat membantu penyerapan CO (Nasrun, 2021)

### 2.3.1. Karakteristik Tembaga

Menurut (Riadi, n.d.) Ada beberapa sifat logam tembaga yaitu:

#### a. Sifat Fisika

1. Tembaga memiliki warna kuning kemerah-merahan.
2. Unsur ini sangat mudah dibentuk, lunak, sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, kawat.

3. Bersifat sebagai konduktor panas dan listrik yang bagus untuk aliran elektron.
4. Tembaga bersifat keras bila tidak murni.
5. Memiliki titik leleh pada 1.084,62 °C, sedangkan titik didih pada 2.562 °C

b. Sifat Kimia

1. Tembaga merupakan unsur yang relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi.
2. Pada udara yang lembab, permukaan tembaga ditutupi oleh suatu lapisan yang berwarna hijau yang menarik dari tembaga karbonat basa,  $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ .
3. Pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $\text{CuO}$  yang berwarna hitam. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, sekitar 1.000°C, akan terbentuk tembaga (I) oksida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) yang berwarna merah.
4. Tembaga tidak diserang oleh air atau uap air dan asam-asam non-oksidator encer seperti  $\text{HCl}$  encer dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  encer, tetapi  $\text{HCl}$  pekat dan mendidih menyerang logam tembaga dan membebaskan gas hidrogen.
5. Tembaga tidak bereaksi dengan alkali, tetapi larut dalam amonia oleh adanya udara membentuk larutan yang berwarna biru dari kompleks  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ .
6. Tembaga panas dapat bereaksi dengan uap belerang dan halogen. Bereaksi dengan belerang membentuk tembaga (I) sulfida dan tembaga (II) sulfida dan untuk reaksi dengan halogen membentuk tembaga (I) klorida.

2.3.2. Skrap Tembaga

Skrap Tembaga terdiri dari sisa pembuatan dan konsumsi produk seperti sisa pembubutan baut M12. Tidak seperti limbah, skrap memiliki nilai moneter, terutama logam yang diperoleh kembali, dan bahan non-logam juga ditemukan untuk didaur ulang.



Gambar.2.4 Skrap Tembaga (Wahyudi, 2012)

#### 2.4. Bahan Bakar Minyak (BBM)

Spesifikasi yang dimiliki pertalite yang bersumber dari web resmi PT Pertamina berdasarkan keputusan Dirjen Migas No.313.K/10/DJ.T/2013 tentang Standar dan Mutu Bahan Bakar Bensin 90 yang dipasarkan di dalam negeri. Adapun keunggulan produk bahan bakar terbaru dari Pertamina adalah tidak menimbulkan kotoran atau kerak pada mesin. Bahannya yang tidak mengandung logam dan timbal sesuai dengan program Langit Biru milik kementerian lingkungan. Selain itu, dengan menggunakan Pertalite, pembakaran mesin Anda dapat lebih optimal daripada Premium. Sehingga mesin lebih bertenaga dan halus. Bahan adiktif dan pewarnanya pun lebih berkualitas jika di bandingkan dengan Premium. Spesifikasi BBM Pertalite diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi BBM Pertalite (Pertamina, 2020)

No	Kandungan	Keterangan
1	Kadar oktan	: 90-91
2	Kandungan sulfur maksimal	: 0,05% m/m (setara dengan 500ppm)
3	Kandungan timbal	: Tidak ada
4	Kandungan Logam	: Tidak ada
5	Bensin maksimal	: 2,0%
6	Berat jenis	: Maksimal 770 kg/m <sup>3</sup> minimal 715 kg/m <sup>3</sup> (pada 15°C)
7	Penampilan	: Jernih dan terang

## 2.5. Bahan-Bahan Untuk Pembuatan Pola (inti)

Bahan-bahan yang dipakai untuk pembuatan pola adalah kayu, resin atau logam. Dalam hal-hal tertentu atau pemakaian khusus juga bisa dipakai bahan seperti plaster atau lilin. Kayu yang dipakai untuk pola adalah kayu saru, kayu aras, kayu pinus, kayu mahoni, kayu jati dan lain-lain. Pemilihan kayu menurut macam dan ukuran pola, jumlah produksi, dan lamanya pemakaian. Kayu yang kadar airnya lebih dari 14 % tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu. Kadang-kadang suhu udara luar harus diperhitungkan, dan ini tergantung pada daerah dimana pola itu dipakai (Surdia & Chijiwa, 1991)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat pelaksanaan dalam menyelesaikan Analisa pemanfaatan skrap tembaga pada saluran gas dalam sepeda motor untuk mengurangi pencemaran udara ini adalah di Laboratorium Teknik Mesin UMSU.

Adapun waktu pelaksanaan Analisa pemanfaatan skrap Tembaga pada saluran gas dalam sepeda motor untuk mengurangi pencemaran udara ini dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, kemudian dilakukan pada bulan Agustus 2023 sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1. Jadwal dan Kegiatan Waktu Pelaksanaan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Pengajuan Judul							
2	Studi Literatur							
3	Penulisan Laporan							
4	Seminar Proposal							
5	Pembuatan Alat							
5	Pengambilan Data dan Menganalisa							
6	Penulisan Laporan Akhir							
7	Seminar Hasil dan Sidang Sarjana							

### 3.2 Bahan Dan Alat

#### 3.2.1 Bahan penelitian

Bahan- bahan penilitan yang diperlukan pada penelitian ini sebagai berikut:

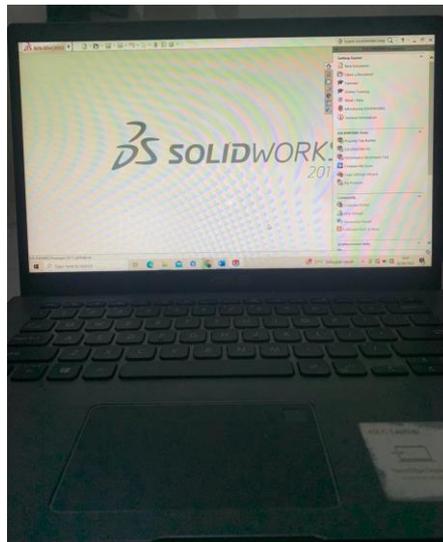
Bahan-bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cetakan pasir, Skrap tembaga yang telah di lelehkan, untuk pembuatan resonator knalpot.
2. BBM pertalite, bahan bakar minyak yang digunakan untuk diuji
3. Skrap atau gram sisa pembubutan, yang akan digunakan adalah gram skrap tembaga. Skrap ini nantinya akan di lelehkan lalu di tuang ke dalam pasir cetak untuk mendapatkan bentuk pipa tembaga yang di gunakan sebagai resonator knalpot.

### 3.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antra lain:

1. Komputer yang dilengkapi dengan *Software solidworks* untuk merancang part knalpot atau susunan part knalpot yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk mempresentasikan part sebelum real partnya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses pemesinan.



Gambar 3.1. Leptop yang dilengkapi dengan *software solidworks*

## 2. Sepeda Motor Beat 115 CC Tahun 2015

### Spesifikasi HONDA Beat

Tipe mesin	: 4-langkah, SOHC dengan pendinginan udara, eSP
Volume Langkah	: 108,2 cm <sup>3</sup>
Diameter X Langkah	: 50 x 55,1 mm
Perbandingan Kompresi	: 9,5 : 1
Daya Maksimum	: 6.38 kW (8.68 PS) / 7.500 rpm
Torsi Maksimum	: 9,01 Nm (0,92 kgf.m) / 6.500 rpm
Kapasitas Minyak Pelumas Mesin	: 0,7 liter pada penggantian periodik
Tipe Kopling	: Otomatis, sentrifugal, tipe kering
Tipe Transmsi	: Otomatis, V-Matic
Pola Pengoperan Gigi	: -
Tipe Starter	: ACG Starter, pedal & elekterik
Tipe Battery	: Battery 12V-3Ah, tipe MF
Busi	: NGK MR9C-9N / Denso V27EPR-N9
Pengapian	: Full Transisterized, Baterai
Panjang X Lebar X Tinggi	: 1.873 x 678 x 1.074 mm
Jarak Sumbu Roda	: 1.256 mm
Jarak terendah ke tanah	: 140 mm
Berat kosong	: 95 kg / ( Tipe CW: 94 kg )
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3,7 liter
Rangka	: Tulang punggung
Tipe suspensi depan	: Teleskopik
Tipe suspensi belakang	: Lengan ayun dengan peredam kejut tunggal
Ukuran Ban Depan	: 80/90 - 14 M/C 40P
Ukuran Ban Belakang	: 90/90 - 14 M/C 46P

Rem Depan : Cakram Hidrolik dengan Piston Tunggal  
Rem Belakang : Tromol - sistem pengereman CBS



Gambar.3.2. Sepeda motor Honda Beat

3. Kunci T10, Kunci T14 untuk membuka dan memasang knalpot standar dan knalpot yang telah dibuat.
4. Mesin las Asetilin, untuk menyambung part knalpot



Gambar 3.3. Mesin las Asetilin

5. Gas Analyzer, sebagai alat instrument yang bermanfaat untuk mengukur proporsi dan komposisi dari gabungan gas. Gas yang bisa diukur dari perangkat ini ialah gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Karbon monoksida (CO), dan Hidro Carbon (HC)



Gambar 3.4. Gas Analyzer

6. Probe, sebagai alat yang dimasukan ke dalam knalpot untuk menghubungkan ke gas analyzer



Gambar 3.5 Probe

7. Scanner Fi untuk mengukur putaran mesin



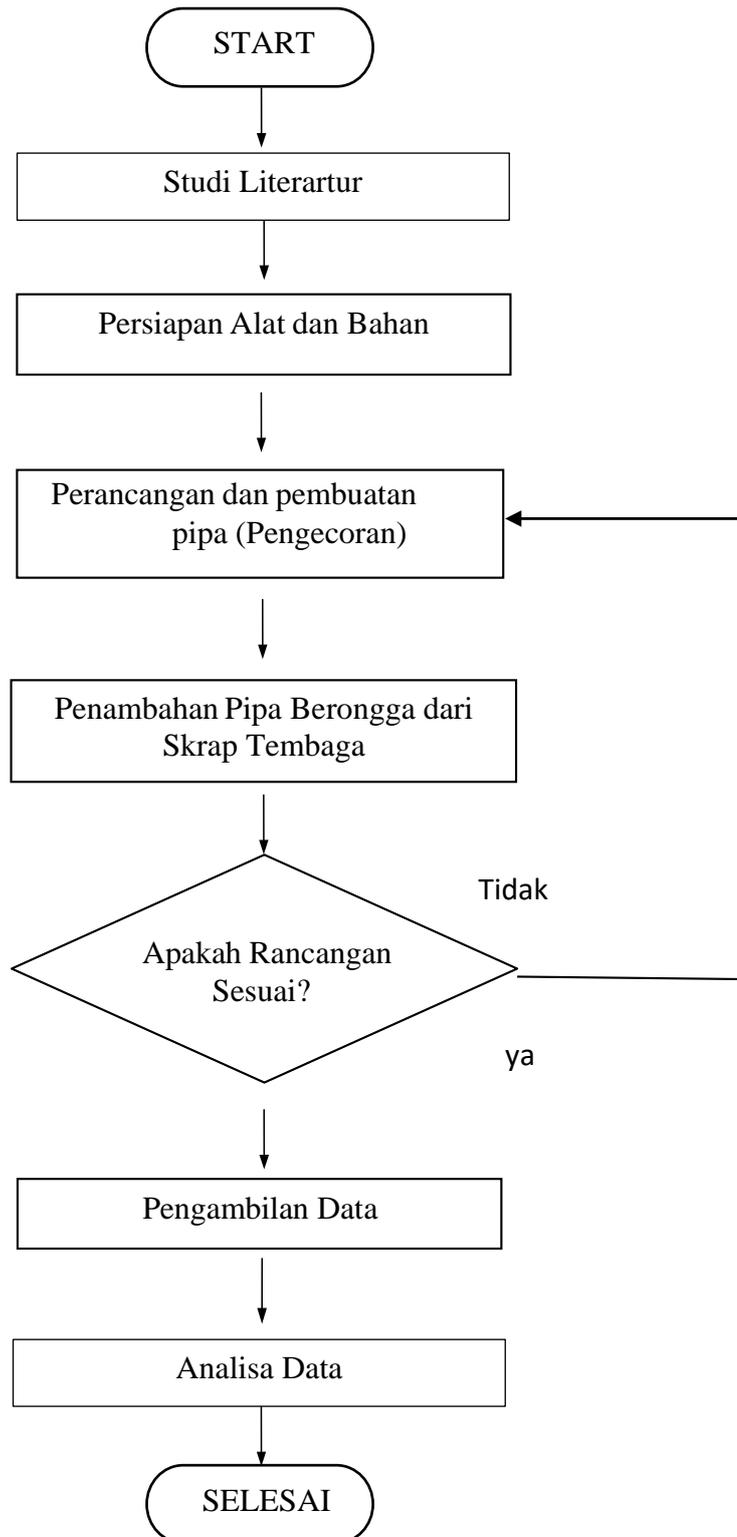
Gambar 3.6 Scanner Fi

8. Anemometer, untuk mengukur kecepatan angin gas buang sepeda motor sekaligus mengukur suhu udara keluaran knalpot



Gambar 3.7 Anemometer

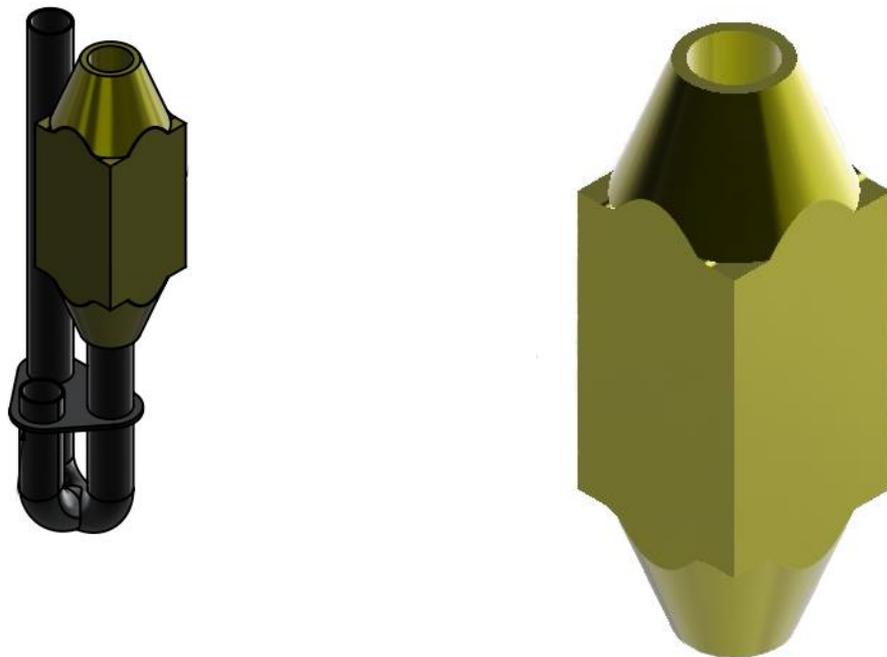
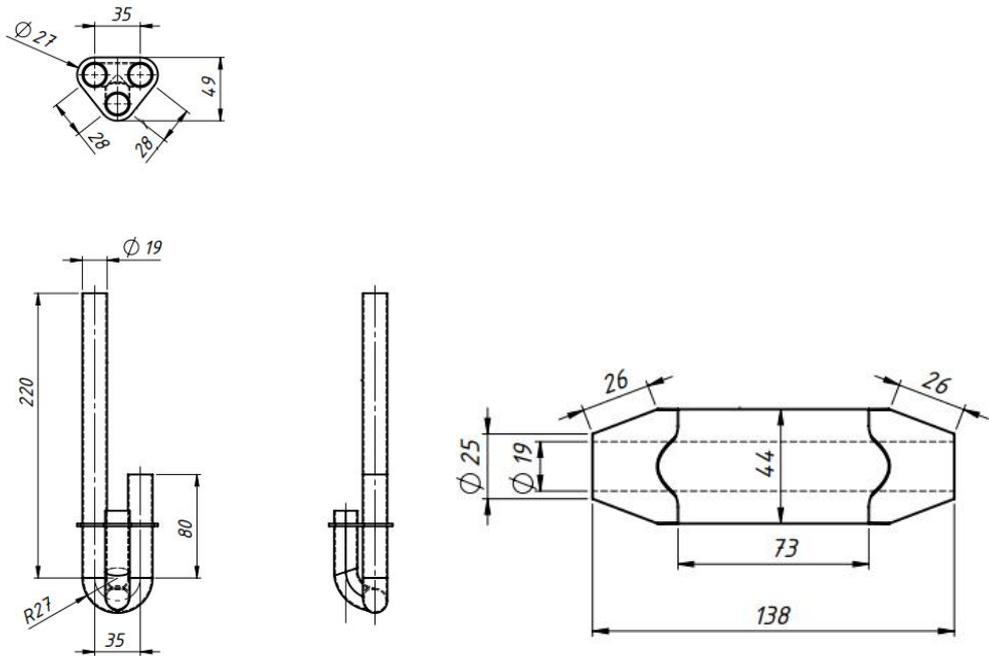
### 3.3 Bagian Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

### 3.4 Rancangan Alat Penelitian

Merancang setiap part knalpot, dan hasilnya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.9. Rancangan Bagian Dalam Knalpot

### 3.5 Pembuatan Pipa Berongga (pengecoran)

1. Membuat sketsa gambar rakayasa dan modifikasi knalpot
2. Menyalakan computer dan menggambar dengan sofwer solidworks untuk merancang setiap part dalam modifikasi knalpot
3. Pembuatan pola, sesuai dengan bentuk coran yang akan dibuat
4. Persiapan pasir cetak
5. Pembuatan cetakan
6. Pembuatan inti (bila diperlukan)
7. Peleburan Skrap Tembaga
8. Penuangan Tembaga cair kedalam cetakan
9. Pendinginan dan pembekuan
10. Pembongkaran cetakan pasir
11. Pembersihan dan pemeriksaan hasil coran
12. Produk cor selesai.
13. Proses Finishing

#### 3.5.1. Tahapan Pembuatan

1. Knalpot Standar



Gambar 3.10. Knalpot Standar Beat

2. Pembelahan Knalpot

Knalpot di belah menggunakan blinder dan gergaji besi agar dapat diketahui bagian-bagian dalam knalpot sehingga dapat memudahkan dalam proses pembuatan pipa berongga.



Gambar 3.11. Proses pembelahan knalpot

a. Bagian dalam resonator knalpot standar

Bagian dalam resonator knalpot standar di ambil dan di ukur untuk memudahkan pembuatan core pengecoran.



Gambar 3.12. Bagian dalam resonator knalpot standar

b. Pembuatan Core (Inti)

Fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan (Universitas Negeri Yogyakarta, 2020).



Gambar 3.13. Core (inti)

3. Proses pembuatan Pipa berongga dari skrap tembaga limbah pemesinan

a. Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan, sesuai dengan bentuk coran yang akan dibuat.



Gambar 3.14. Pembuatan Cetakan

b. Pembuatan Inti

Inti adalah pasir yang dibentuk dan dipadatkan kemudian dipasangkan pada rongga cetakan untuk mencegah pengisian logam pada bagian yang seharusnya berbentuk lubang atau rongga dalam suatu coran.



Gambar 3.15. Pembuatan Inti (Rongga)

- c. Penuangan logam cair kedalam cetakan.



Gambar 3.16. Penuangan logam cair kedalam cetakan

- d. Pengambilan pipa berongga yang sudah tercetak dari dalam cetakan.



Gambar 3.17. Pipa berongga yang sudah dicetak

e. Proses Pembubutan

Untuk merapikan dan membuat ukuran pipa berongga sesuai dengan yang di inginkan



Gambar 3.18. Proses pembubutan

f. Pipa berongga setelah proses finishing



Gambar 3.19. Pipa dari pemanfaatan skrap tembaga

g. Penggabungan setiap part knalpot



Gambar 3.20. Knalpot standar yang telah dimodifikasi

### 3.6 Prosedur Pengujian

Dalam pendahuluan telah disebutkan bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan tingkat emisi dan kemampuan mereduksi emisi yang di hasilkan oleh antara knalpot standar dengan knalpot rekayasa yang sudah di tambahkan pipa berongga dari pemanfaatan skrap tembaga limbah pemesinan. Guna mencapai tujuan tersebut maka dilakukan penelitian dengan menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu metode dengan cara membandingkan antara penggunaan knalpot standar dan knalpot rekayasa dengan perlakuan variable (pemanfaatan sisa pembubutan yang disebut skrap tembaga untuk mengurangi emisi gas buang).

Pengujian dan analisa data pada uji emisi gas buang ini akan diatur variable terikat terikatnya dengan putaran mesin  $\pm 4500$  rpm, dan dengan suhu mesin  $50^{\circ}\text{C}$

hingga 60°C. setelah pengujian model knalpot standar, kemudian knalpot rekayasa yang dimodifikasi pipa berongga dari pemanfaatan skrap tembaga limbah pemesinan.

### 3.6.1 Pengujian

#### 3.6.1.1 Pengujian Knalpot Standar

1. Mempersiapkan sepeda motor dan mengisi BBM pertalite.
2. Mempersiapkan alat dan bahan penelitian
3. Set up alat uji Gas analyzer dan probe, probe ini sebagai alat yang dimasukan kedalam knalpot untuk menghubungkan ke gas analyzer
4. Menunggu  $\pm 20$  menit untuk memanaskan knalpot
5. Membuka cover baterai dan menghubungkan kabel dlc ke alat scanner fi, hal ini dilakukan untuk mengukur putaran mesin.
6. Putaran mesin di atur hingga  $\pm 4500$  rpm
7. Mengukur kecepatan angin gas buang.
8. Mengukur panas pangkal tabung knalpot.
9. Implementasi dan menguji pada knalpot standar.
10. Masukan probe ke knalpot
11. Perhatikan gas analyzer, baca data emisi gas buang yang diprin-out.
12. Catat data untuk diolah atau dianalisa.
13. Buka knalpot standar

### 3.6.2. Tahapan Pengujian

#### 3.6.2.1 Pengujian Knalpot Standar

1. Mempersiapkan sepeda motor dengan BBM pertalite



Gambar 3.21 Sepeda Motor Beat

2. Membuka cover baterai sepeda motor, hal ini dilakukan untuk memasang *Fi Scanner* ke sooket DLC untuk mengukur putaran mesin.



Gambar 3.22 Socket *DLC* ( data link conector)

3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.



Gambar 3.23 Pengukuran rpm dengan *Fi Scanner*

4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inci.



Gambar 3.24 Pengukuran kecepatan angin gas buang

5. Pengujian emisi pada knalpot standar Honda Beat



Gambar 3.25 Pengujian emisi gas buang dengan menggunakan *Gas Analyzer*

### 3.6.2.2 Pengujian Knalpot Modifikasi Pipa Tembaga 44mm

Dengan pipa dari hasil daur ulang skrap tembaga limbah pemesinan yang telah di modifikasi kedalam knalpot hasil modifikasi pipa tembaga 44mm dengan tahap sebagai berikut.

1. Mempersiapkan knalpot yang telah dimodifikasi menggunakan pipa tembaga berdiameter 44mm



Gambar 3.26. Knalpot modifikasi menggunakan pipa tembaga 44mm

2. Pemasangan knalpot yang telah dimodifikasi pada sepeda motor honda beat.



Gambar 3.27 Proses pemasangan knalpot

3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.



Gambar 3.28 Pengukuran rpm dengan *Fi scanner*

4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inchi.



Gambar 3.29 Pengukuran kecepatan angin gas buang

5. Pengujian emisi pada knalpot modifikasi honda beat



Gambar 3.30 Pengujian pada knalpot modifikasi

6. Baca emisi gas buang yang sudah di print out

### 3.6.2.3 Pengujian Knalpot Modifikasi Pipa Tembaga 48mm

1. Mempersiapkan knalpot yang telah dimodifikasi menggunakan pipa tembaga berdiameter 48mm



Gambar 3.31. Knalpot modifikasi menggunakan pipa berongga 48mm

2. Pemasangan knalpot yang telah dimodifikasi pada sepeda motor honda beat
3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.
4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inchi.
5. Pengujian emisi pada knalpot modifikasi honda beat
6. Baca emisi gas buang yang sudah di printout

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

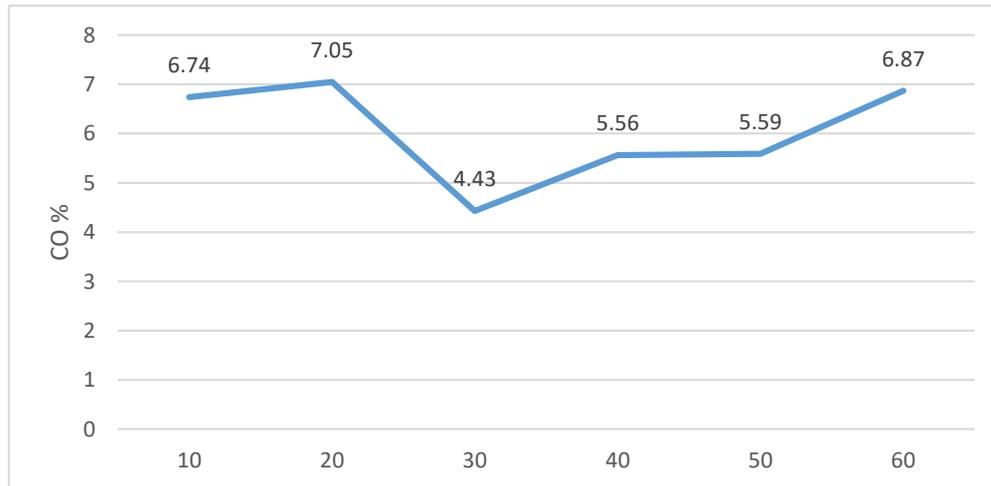
### 4.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka diperoleh hasil pengujian emisi gas buang pada 3 jenis knalpot yang berbeda-beda, yang di tampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengujian knalpot standar

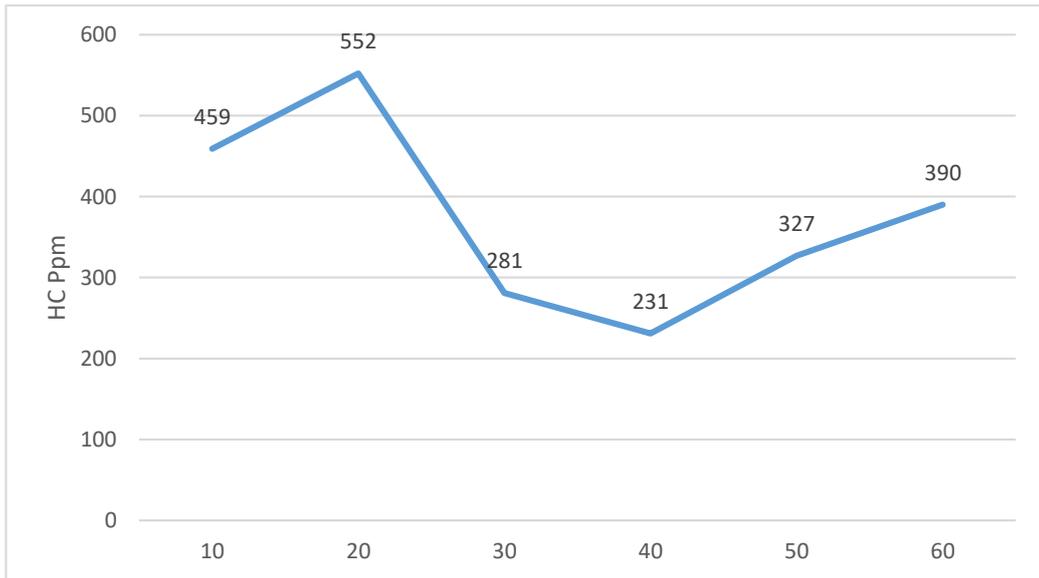
No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO)	Hidro carbon (HC)	Carbon dioksida (CO <sub>2</sub> )
					%	Ppm	%
1	Ke 10	4500	12,5	69°	6,74	459	4,5
2	Ke 20	4500	13	73°	7,05	552	4,2
3	Ke 30	4500	10,6	75°	4,43	281	6,7
4	Ke 40	4500	10,3	78°	5,56	231	4,8
5	Ke 50	4500	11,2	77°	5,59	327	4,8
6	Ke 60	4500	10,5	81°	6,87	390	4,1

a. Grafik model knalpot standar dengan CO yang dihasilkan



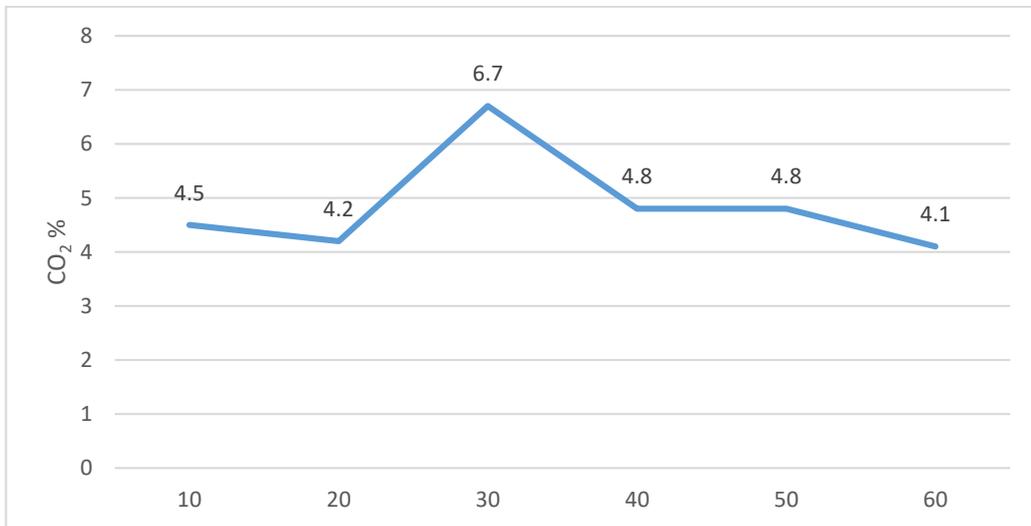
Gambar 4.1. Grafik model knalpot standar dengan CO yang di hasilkan

b. Grafik model knalpot standar dengan HC yang dihasilkan



Gambar 4.2. Grafik model knalpot standar dengan HC yang di hasilkan

c. Grafik model knalpot standar dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan



Gambar 4.3. Grafik model knalpot standar dengan HC yang di hasilkan

Tabel 4.2 Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa tembaga 44mm

No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO) %	Hidro carbon (HC) Ppm	Carbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) %
1	Ke 10	4500	10,5	59°	1,70	414	8,0
2	Ke 20	4500	11,3	65°	1,14	249	7,2
3	Ke 30	4500	12,5	69°	3,32	342	4,9
4	Ke 40	4500	11,5	73°	4,91	328	4,4
5	Ke 50	4500	12,3	75°	4,97	285	4,5
6	Ke 60	4500	12,6	78°	5,23	357	3,7

Tabel 4.3 Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa tembaga 48mm

No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO) %	Hidro carbon (HC) Ppm	Carbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) %
1	Ke 10	4500	11	60°	1,77	461	6,0
2	Ke 20	4500	12,3	67°	1,96	320	2,8
3	Ke 30	4500	11,8	65°	1,28	245	3,4
4	Ke 40	4500	10,5	79°	4,51	428	4,4
5	Ke 50	4500	12,5	86°	5,58	436	4,4
6	Ke 60	4500	12,9	91°	4,23	319	3,7

## 4.2. Pembahasan Penelitian

### 4.2.1 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa diameter 44mm

Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 pada halaman 9 dihitung persentase emisi serta persentase penurunan emisi yang terjadi

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan tembaga}}{\text{rata rata emisi tanpa tembaga}} \times 100 \%$$

$$\text{Persentase penurunan emisi} = 100 \% - \text{persentase emisi} (\%)$$

- a. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 44mm.
- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{1,70}{6,74} \times 100 \% = 0,25\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,25\% = 99,75\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

- Presentasi Emisi =  $\frac{1,14}{7,05} \times 100 \% = 0,16\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,16\% = 99,84\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

- Presentasi Emisi =  $\frac{3,32}{4,43} \times 100 \% = 0,74\%$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,74\% = 99,26\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

- Presentasi Emisi =  $\frac{4,91}{5,56} \times 100 \% = 0,88\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,88\% = 99,12\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

- Presentasi Emisi =  $\frac{4,97}{5,59} \times 100 \% = 0,88\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,88\% = 99,12\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

- Presentasi Emisi =  $\frac{5,23}{6,87} \times 100 \% = 0,76\%$

Penurunan CO adalah:

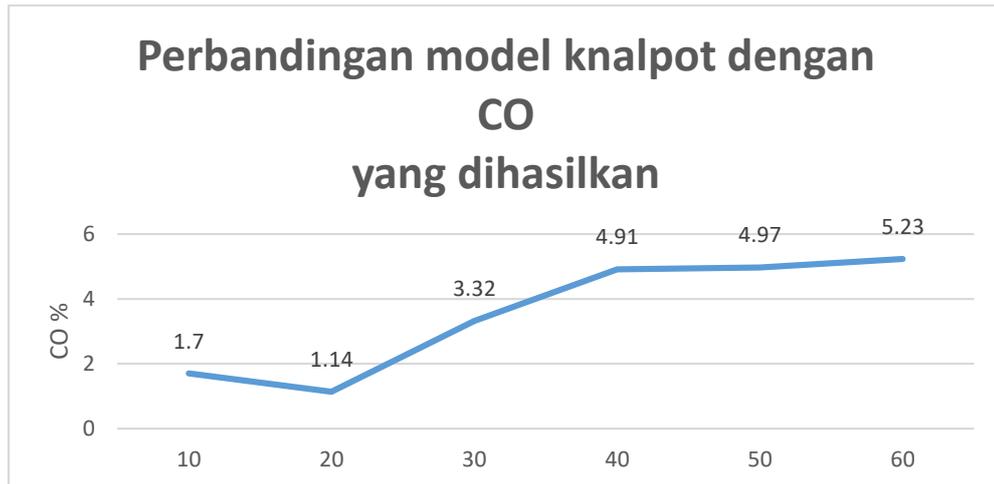
$$100\% - 0,76\% = 99,24\%$$

Tabel 4.4. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO	Pengukuran CO
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	1,70	99,75
2	Ke 20	1,14	99,84
3	Ke 30	3,32	99,26
4	Ke 40	4,91	99,12
5	Ke 50	4,97	99,12
6	Ke 60	5,23	99,24

Kondisi CO pada emisi gas buang dengan knalpot modifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,75% , menit ke 20 99,84%, menit ke 30 menurun 99,26%, menit ke 40 menurun 99,12%, menit ke 50 menurun 99,12%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,24%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi  $CO_2$ , bahwa pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar  $300^{\circ}C$  tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.4. Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan

b. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (HC) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 44mm.

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{414}{459} \times 100 \% = 0,90\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,90\% = 99,1\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{249}{552} \times 100 \% = 0,45\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,45\% = 99,55\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{342}{281} \times 100 \% = 1,21\%$$

Penurunan emisi HC adalah:

$$100\% - 1,21\% = 98,79\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{328}{231} \times 100 \% = 1,41\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 1,41\% = 98,59\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{285}{327} \times 100 \% = 0,87\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,87\% = 99,13\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{357}{390} \times 100 \% = 0,91\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,91\% = 99,09\%$$

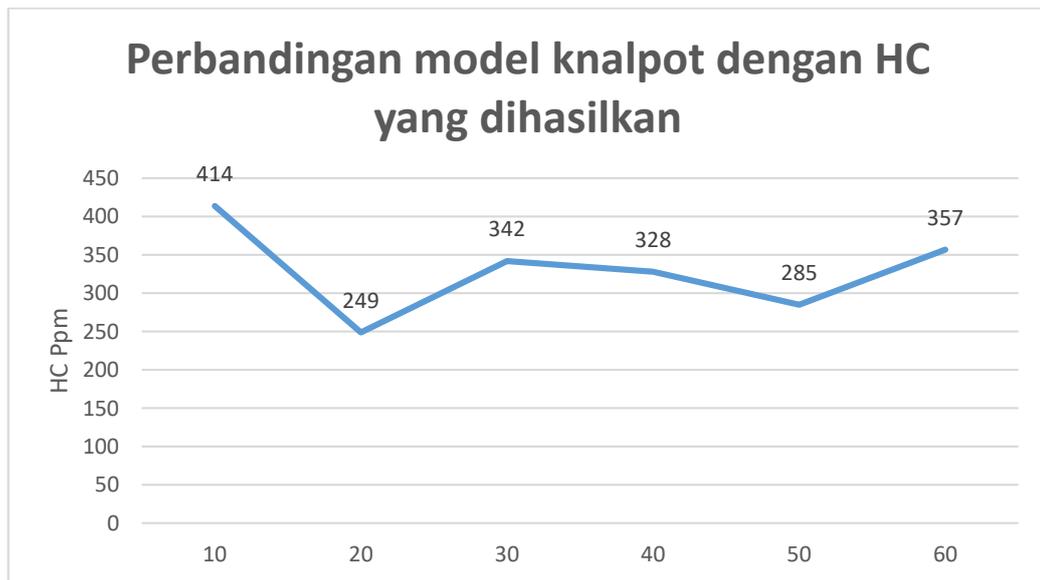
Tabel 4.5. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	HC	Pengukuran HC
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	414	99,1
2	Ke 20	249	99,55
3	Ke 30	342	98,79
4	Ke 40	328	98,59
5	Ke 50	285	99,13
6	Ke 60	357	99,09

Kondisi HC pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,1% ,menit ke 20 99,55%, menit ke 30 terjadi kenaikan sebesar 98,79%, menit ke 40 juga mengalami kenaikan sebesar 98,59%, menit ke 50 mengalami penurunan 99,13% dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,09%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas HC pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$

sehingga gas buang hidrokarbon apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi H<sub>2</sub>O, pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C<sub>u</sub>O yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.5. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan

- c. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO<sub>2</sub>) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 44mm.
- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{8,0}{4,5} \times 100 \% = 1,7\%$$

Penurunan emisi CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 1,7\% = 98,3\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{7,2}{4,2} \times 100 \% = 1,71\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 1,71\% = 98,29\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,9}{6,7} \times 100 \% = 0,73\%$$

Penurunan emisi CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,73\% = 99,27\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,4}{4,8} \times 100 \% = 0,91\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,91\% = 99,09\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,5}{4,8} \times 100 \% = 0,93\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,93\% = 99,7\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,7}{4,1} \times 100 \% = 0,90\%$$

Penurunan HC adalah:

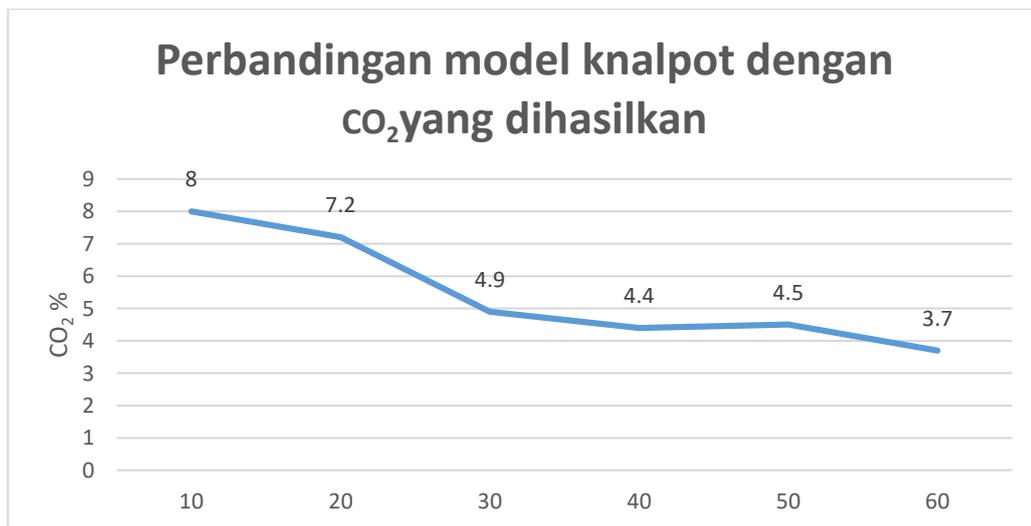
$$100\% - 0,90\% = 99,1\%$$

Tabel 4.6. Data persentase CO<sub>2</sub> pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO <sub>2</sub>	Pengukuran CO <sub>2</sub>
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	8,0	98,3
2	Ke 20	7,2	98,29
3	Ke 30	4,9	99,27
4	Ke 40	4,4	99,09
5	Ke 50	4,5	99,7
6	Ke 60	3,7	99,1

Kondisi CO<sub>2</sub> pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi kenaikan 98,3 % , menit ke 20 naik 98,29%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,27%, menit ke 40 99,09% menit ke 50 turun 99,7%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % . Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO<sub>2</sub> pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk Cu<sub>2</sub>O sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO, yang mengemukakan bahwa Pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk Cu<sub>2</sub>O yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.6. Grafik model knalpot dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan

#### 4.2.2 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa tembaga diameter 48mm

Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 pada halaman 9 dihitung persentase emisi serta persentase penurunan emisi yang terjadi

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan tembaga}}{\text{rata rata emisi tanpa tembaga}} \times 100 \%$$

$$\text{Persentase penurunan emisi} = 100 \% - \text{persentase emisi} (\%)$$

a. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 48mm.

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{1,77}{6,74} \times 100 \% = 0,26\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,26\% = 99,74\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

- Presentasi Emisi =  $\frac{1,96}{7,05} \times 100 \% = 0,29\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,29\% = 99,71\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{1,28}{4,43} \times 100 \% = 0,28\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,28\% = 99,72\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,51}{5,56} \times 100 \% = 0,81\%$$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,88\% = 99,19\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

- Presentasi Emisi =  $\frac{5,58}{5,59} \times 100 \% = 0,99\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,99\% = 99,01\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,23}{6,87} \times 100 \% = 0,61\%$$

Penurunan CO adalah:

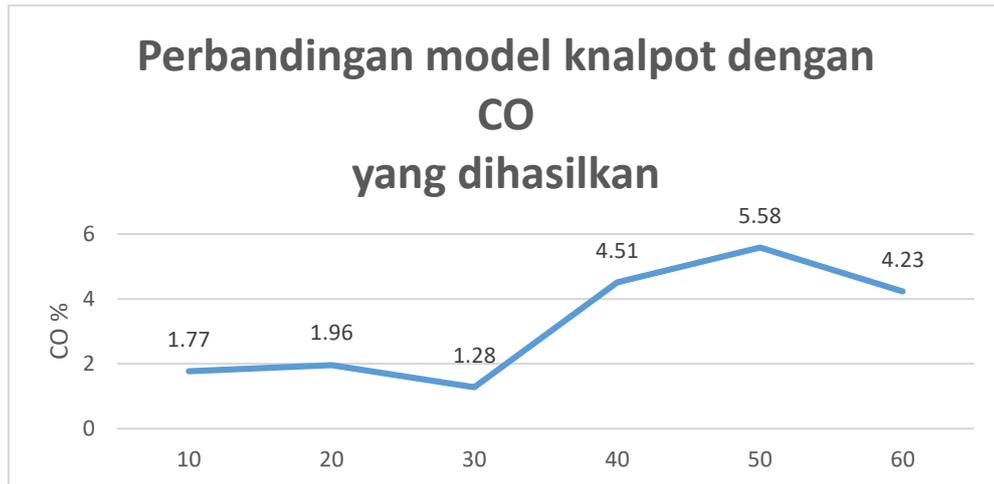
$$100\% - 0,61\% = 99,39\%$$

Tabel 4.7. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO	Pengukuran CO
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	1,77	99,74
2	Ke 20	1,96	99,71
3	Ke 30	1,28	99,72
4	Ke 40	4,51	99,19
5	Ke 50	5,58	99,01
6	Ke 60	4,23	99,39

Kondisi CO pada emisi gas buang dengan knalpot modifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,74% , menit ke 20 menurun 99,71%, menit ke 30 menurun 99,72%, menit ke 40 menurun 99,19%, menit ke 50 menurun 99,01%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,39%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi  $CO_2$ , bahwa pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar  $300^{\circ}C$  tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.7. Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan

- b. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (HC) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 48mm.
- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{461}{459} \times 100 \% = 1\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 1\% = 99\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{320}{552} \times 100 \% = 0,57\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,57\% = 99,43\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{245}{281} \times 100 \% = 0,81\%$$

Penurunan emisi HC adalah:

$$100\% - 0,81\% = 99,19\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{428}{231} \times 100 \% = 1,85\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 1,85\% = 98,15\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{436}{327} \times 100 \% = 1,3\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 1,3\% = 98,69\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{319}{390} \times 100 \% = 0,81\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,81\% = 99,19\%$$

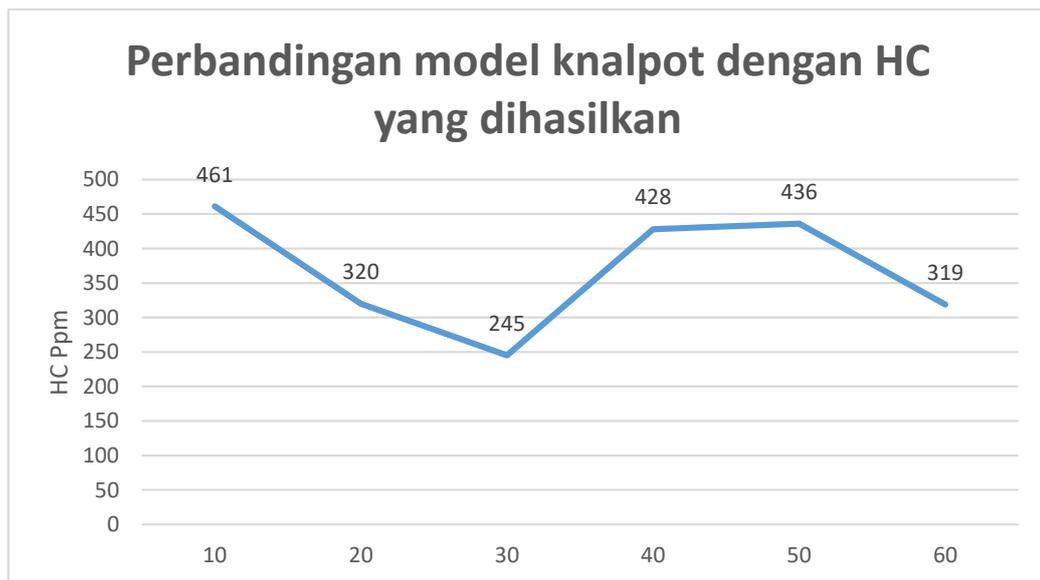
Tabel 4.8. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	HC	Pengukuran HC
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	461	99
2	Ke 20	320	99,43
3	Ke 30	245	99,19
4	Ke 40	428	98,15
5	Ke 50	436	98,69
6	Ke 60	319	99,19

Kondisi HC pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi penurunan 99% ,menit ke 20 menurun 99,43%, menit ke 30 terjadi menurun 99,19%, menit ke 40 mengalami kenaikan sebesar 98,15%, menit ke 50 mengalami penurunan 98,69% dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,19%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas HC pada sepeda motor dikarenakan

sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  sehingga gas buang hidrokarbon apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi  $H_2O$ , pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar  $300^{\circ}C$  tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk  $C_uO$  yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.8. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan

c. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida ( $CO_2$ ) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa tembaga diameter 48mm.

- Untuk kandungan ( $CO_2$ ) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{6,0}{4,5} \times 100 \% = 1,3\%$$

Penurunan emisi  $CO_2$  adalah:

$$100\% - 1,3\% = 98,7\%$$

- Untuk kandungan ( $CO_2$ ) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{2,8}{4,2} \times 100 \% = 0,6\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,6\% = 99,4\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,4}{6,7} \times 100\% = 0,50\%$$

Penurunan emisi CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,50\% = 99,50\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,4}{4,8} \times 100\% = 0,91\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,91\% = 99,09\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,4}{4,8} \times 100\% = 0,91\%$$

Penurunan CO<sub>2</sub> adalah:

$$100\% - 0,91\% = 99,09\%$$

- Untuk kandungan (CO<sub>2</sub>) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa tembaga menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,7}{4,1} \times 100\% = 0,90\%$$

Penurunan HC adalah:

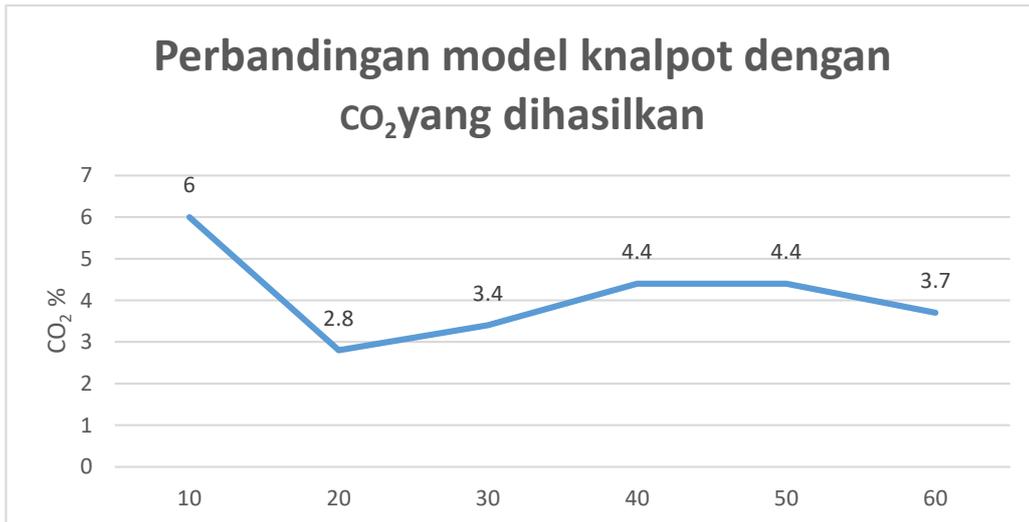
$$100\% - 0,90\% = 99,1\%$$

Tabel 4.9. Data persentase CO<sub>2</sub> pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO <sub>2</sub>	Pengukuran CO <sub>2</sub>
		(%)	(%)
1	Ke 10	6,0	98,7
2	Ke 20	2,8	99,4
3	Ke 30	3,4	99,50
4	Ke 40	4,4	99,09
5	Ke 50	4,4	99,09
6	Ke 60	3,7	99,1

Kondisi CO<sub>2</sub> pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi kenaikan 98,7 % , menit ke 20 menurun 99,4%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,50%, menit ke 40 menurun 99,09% menit ke 50 turun 99,09%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 %. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO<sub>2</sub> pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C<sub>u</sub>O sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO, yang mengemukakan bahwa Pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C<sub>u</sub>O yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.9. Grafik model knalpot dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5,1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian tentang data hasil penelitian di atas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pengujian kadar CO, HC dan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan gas analyzer, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rpm kendaraan bermotor maka semakin tinggi pula kadar CO, HC dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan kendaraan tersebut.
2. Hasil dari pengujian unsur carbon monoksida menurun (CO), hidrocarbon (HC) dan carbon dioksida menurun (CO<sub>2</sub>), maka yang paling baik untuk penurunan dan mengurangi bahaya emisi gas buang adalah knalpot *Modifikasi* menggunakan pipa tembaga berdiameter 44mm. jika dibandingkan dengan knalpot standar, unsur CO dimenit 10 turun hingga terjadi penurunan 99,75% , menit ke 20 99,84%, menit ke 30 menurun 99,26%, menit ke 40 menurun 99,12%, menit ke 50 menurun 99,12%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,24% pada putaran 4500 rpm, HC terjadi kenaikan 98,3 % ,menit ke 20 naik 98,29%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,27%, menit ke 40 99,09% menit ke 50 turun 99,7%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % pada putaran 4500 rpm. Unsur CO<sub>2</sub> yang terbaik adalah modifikasi knalpot menggunakan pipa tembaga 48mm di menit 10 terjadi kenaikan 98,3 % , menit ke 20 naik 98,29%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,27%, menit ke 40 99,09% menit ke 50 turun 99,7%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % pada putaran 4500 rpm.
3. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pipa tembaga hasil daur ulang skrap tembaga limbah pemesinan sebagai resonator knalpot mampu mereduksi emisi gas buang melalui proses reaksi oksidasi.

## 5.2 Saran

Penelitian ini memiliki keunggulan dan kelemahan yang belum bisa di paparkan oleh penulis, adapun saran dan masukan dari penulis adalah :

1. Sebelum melakukan pengujian pada saat menaikkan putaran mesin (rpm) jangan lupa memperhatikan campuran udara dan bahan bakar karena itu mempengaruhi hasil pengujian gas buang.
2. Penelitian dan eksperimen selanjutnya dapat merekayasa knalpot dengan bentuk dan model lain serta menambahkan jenis bahan logam yang lain untuk penurunan emisi gas buang yang lebih efektif dan signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Decy Arwini, N. P. (2020). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 2(2), 20–30. <https://doi.org/10.47532/jiv.v2i2.86>
- Irawan, B. (2012). Rancangan Bangun Catalytic Converter Material Substrat Tembaga Berlapis Mangan Untuk Mereduksi Gas Karbon Monoksida Motor Bensin. *Seminar Hasil-Hasil Penelitian -LPPM UNISMUS*, 1–14.
- Krom, P., Krom, D., Ngakan, D., Putra, K., Suarsana, I. K., Dipa, D., ... Dipa, D. (2010). TIM PENELITIAN I Made Astika , ST ., MErg ., MT 2010, 1–46.
- Maryanto, D., Mulasari, S. A., & Suryani, D. (2014). Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (Co) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Journal of Public Health)*, 3(3). <https://doi.org/10.12928/kesmas.v3i3.1110>
- Motorplus. (n.d.). Mengenal Kontruksi Bagian Dalam Knalpot Standar Motor. Retrieved March 1, 2024, from <https://www.motorplus-online.com/read/251215713/mengenal-kontruksi-bagian-dalam-knalpot-standar-motor>
- Muhammad, M., Amin, B., & Sugiarto, T. (2018). Pengaruh Penggunaan Katalis Plat Tembaga Pada Knalpot Sepeda Motor Terhadap Kandungan Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC). *Automotive Engineering Education Journals*, 7(2), 1–12.
- Muziansyah, D., Sulistyorini, R., & Sebayang, S. (2015). Model of Vehicle Gases Emissions in Transportation Activity. *Journal of Civil and Design Engineering*, 3(1), 57–70.
- Nasrun, N. (2021). the Effect of the Installation of Modified Copper in the Muffler and the Use of Peralit-Ethanol Mixed Fuel on the Reduction of Co Exhaust Gas. *Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 81–88.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2006). Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006*, 53(9), 1689–1699.
- Pertamina. (2020). Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG. *Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG*, 23.
- Prasetyo, Y., & Mukhtar, A. (2022). Pengaruh Pola Pelapisan Isolator di Bagian Header Terhadap Temperatur Knalpot Sepeda Motor. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 7(1), 10–13. <https://doi.org/10.36526/v-mac.v7i1.1947>
- Rachmadhi, S. (2014). Pengaruh Jarak Kerenggangan Celah Elektroda Busi

Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Tak. *Automotive Engineering Education Journal*, 3(2), 1–7.

- Riadi, M. (n.d.). Tembaga (Definisi, Karakteristik, Sifat, Penggunaan dan Dampak Keracunan Limbah). Retrieved March 3, 2024, from <https://www.kajianpustaka.com/2020/09/tembaga.html>
- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Salindra, B. P. (2022). Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Masyarakat yang Rentan dan Berisiko Tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265>
- Sadyah, H., & Yogyakarta, U. M. (2019). Analisis Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan, (June).
- Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Yani, M. (2019). Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(2), 171–179. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i2.3672>
- Siswanto, Lagiyono, S. (2009). ANALISA EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR 4 TAK BERBAHAN BAKAR CAMPURAN PREMIUM DENGAN VARIASI PENAMBAHAN ZAT ADITIF. *Journal Teknik Mesin Fakultas Teknik, Univ Pancasakti Tegal*, 77, 84. Retrieved from <https://docplayer.info/29806241-Analisa-emisi-gas-buang-kendaraan-bermotor-4-tak-berbahan-bakar-campuran-premium-dengan-variasi-penambahan-zat-aditif.html>
- Surdia, T., & Chijiwa, K. (1991). Teknik Pengecoran Logam, PT. *Pradnya Paramitha, Jakarta*, 20–31.
- Suzuki. (2021). Cari Tahu Apa Itu Silencer Knalpot Serta Bahan dan Fungsinya. Retrieved March 1, 2024, from <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/cari-tahu-apa-itu-silencer-knalpot-serta-bahan-dan-fungsinya?pages=all>
- Svehla, G. (1990). *Buku teks analisis anorganik kualitatif makro dan semimikro: diterjemahkan oleh L. Setiono* (Kalman Med). Jakarta.
- Syahrani, A. (2006). Analisa Kerja Mesin Berdasarkan Hasil Uji Emisi. *Jurnal SMARTek*, 4(4), 260–266. Retrieved from <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/SMARTEK/article/view/446/383>
- Syaief, A. N., Norsujianto, T., Maulana, R. R., & Maknunah, S. (2015). Pengaruh Exhaust Manifold Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Suzuki Smash Tahun 2007. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 18. <https://doi.org/10.34128/je.v1i1.24>
- Taufik. (n.d.). Fungsi Resonator di sistem Knalpot Sepeda Motor. Retrieved March

1, 2024, from <https://tmcblog.com/2019/06/02/fungsi-resonator-di-sistem-knalpot-sepeda-motor/>

Wahyudi, F. B. (2012). Pengaruh Variasi Dimensi Scrap Tembaga (Cu) Terhadap Keseimbangan Unsur Paduan dan Perubahan Mikrostruktur Hasil Pengecoran Al-Cu.

Wakhid, M. U. (2018). Analisis Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Co Di Uin Raden Intan Lampung. *Unversitas Islam Negeri Raden Intan Lampung*, 1–124.

Yudhantoko, M. (2008). Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Komisi Penghapusan Bensin Bertimbel*, 1, 1–11. Retrieved from [www.kbpp.org/makalah-Ind/emisi](http://www.kbpp.org/makalah-Ind/emisi).

## **LAMPIRAN**

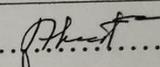
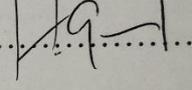
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Fadly Andriansyah Batubara

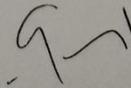
NPM : 1907230128

Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Tembaga Limbah Pemesinan  
Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi  
Pencemaran Udara

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I	: Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT	: .....	
Pembanding – I	: Dr. Suherman, MT	: .....	
Pembanding – II	: Chandra A Siregar, ST, MT	: .....	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1907230123	Rully Guruhawan Dalimuntje	
2	1907230128	Fadly Andriansyah B.B.	
3	1907230128	MUBARRAHAT RENDANSYAH	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 14 Sya'ban 1445 H  
24 Februari 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Fadly Andriansyah Batubara  
NPM : 1907230128  
Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Tembaga Limbah Pemesinan  
Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi  
Pencemaran Udara

Dosen Pembanding – I : Dr. Suherman, MT  
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

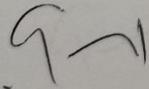
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

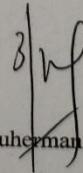
Medan, 14 Sya'ban 1445 H  
24 Februari 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT



Dr. Suherman, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

Nama : Fadly Andriansyah Batubara  
NPM : 1907230128  
Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Temabaga Limbah Pemesinan  
Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi  
Pencemaran Udara

Dosen Pembanding – I : Dr. Suherman, MT  
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

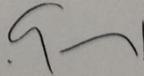
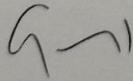
**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *lihat buku yg akan*  
.....  
.....  
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

Medan 14 Sya'ban 1445 H  
24 Februari 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT

Chandra A Siregar, ST, MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

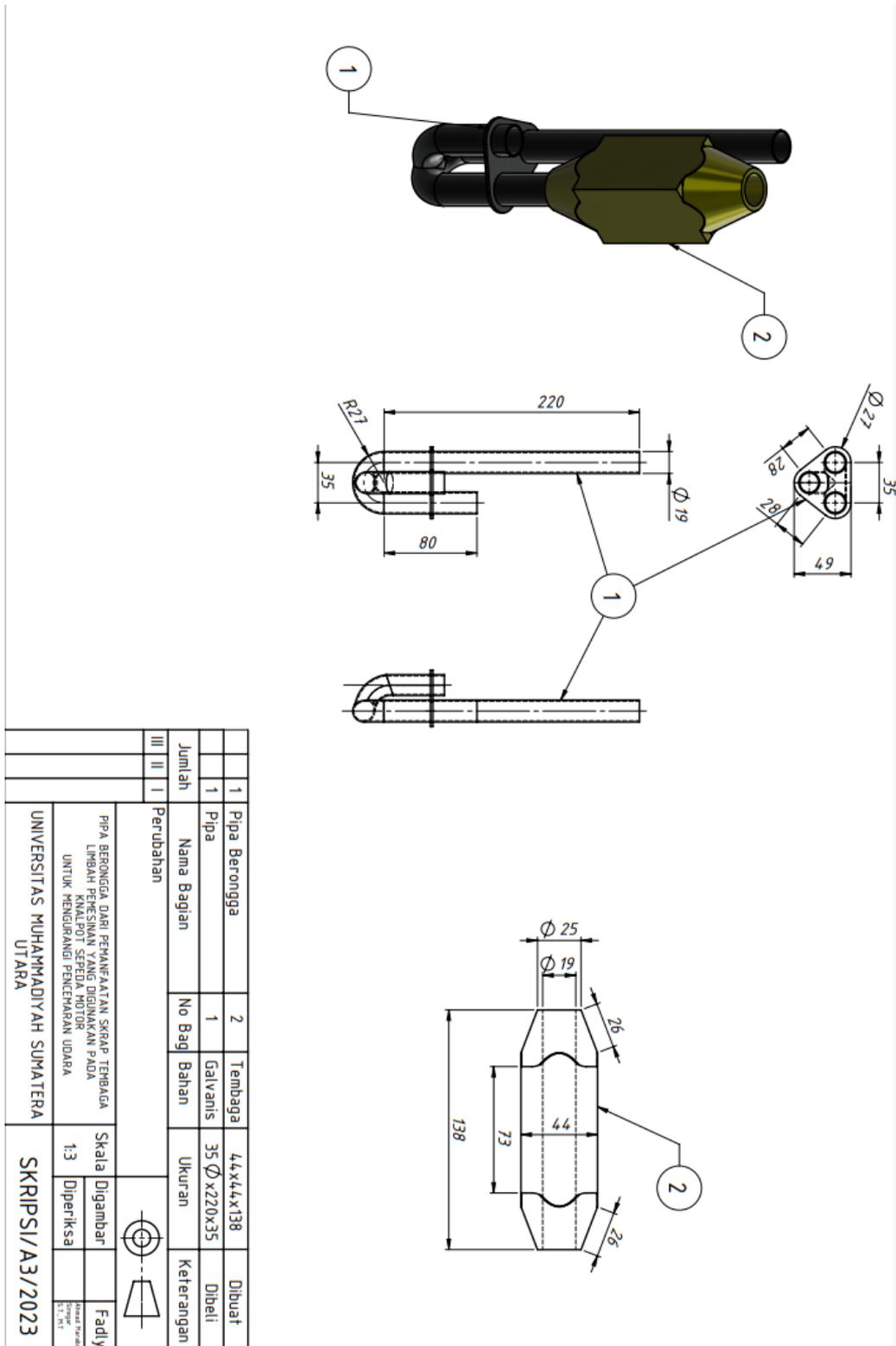
PIPA BERONGGA DARI PEMANFAATAN SKRAP TEMBAGA LIMBAH  
PEMESINAN YANG DIGUNAKAN PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR  
UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA

Nama : Fadly Andriansyah Batubara  
NPM : 1907230128

Dosen Pembimbing : Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T

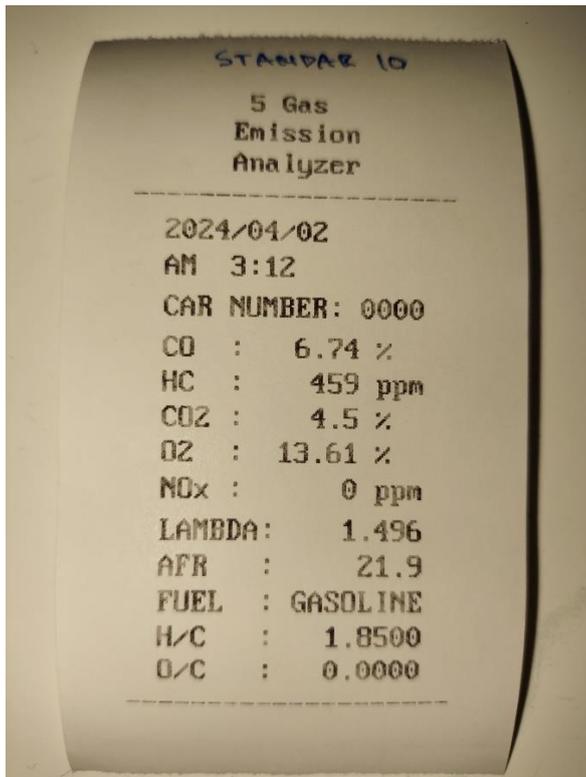
No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Kamis $\frac{27}{7} 23$	penyerimaan SKH pembimbing	At
2.	Kamis $\frac{10}{8} 23$	perbaiki Bab 2 dan lanjut Bab 3	At
3.	Senin $\frac{14}{8} 23$	perbaiki prosedur	At
4.	Rabu $\frac{16}{8} 23$	Atcc, persiapan Skripsi	At
5.	Rabu $\frac{24}{1} 24$	perbaiki Daftar isi Bab 4	At
6.	Jumat $\frac{26}{1} 24$	teliti lg & perbaiki	At
7.	Sabtu $\frac{27}{1} 24$	Atcc, persiapan Semulas	At
8.	Rabu $\frac{3}{4} 24$	Atcc, persiapan sidang Sarjana	At

Gambar teknik rancangan pipa hasil daur ulang skrap tembaga



Print out hasil uji emisi gas buang knalpot standar

Menit 10



Menit 20



Menit 30

STANDAR 30

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 3:33  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 4.43 %  
HC : 281 ppm  
CO2 : 6.7 %  
O2 : 12.32 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.918  
AFR : 28.1  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 40

STANDAR 40

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 3:44  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 5.56 %  
HC : 231 ppm  
CO2 : 4.8 %  
O2 : 15.88 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 50

STANDAR 50  
5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 3:56  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 5.59 %  
HC : 327 ppm  
CO2 : 4.8 %  
O2 : 15.88 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 60

STANDAR 60  
5 Gas  
Emission  
Analyzer

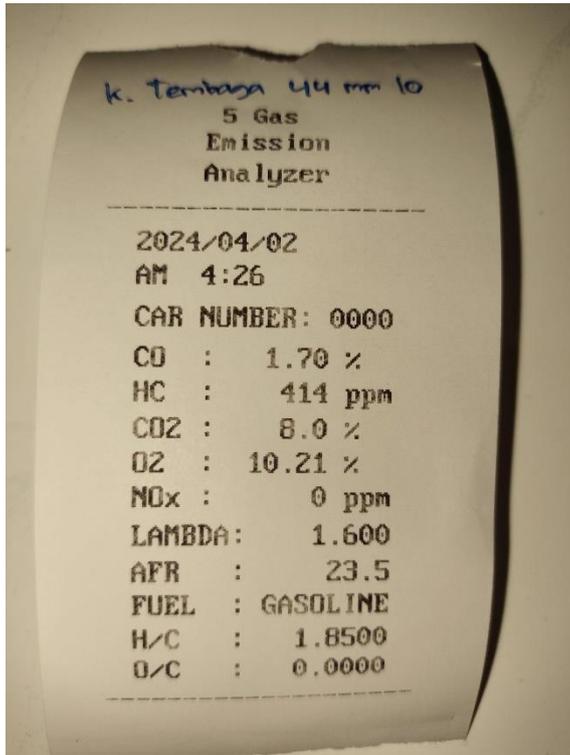
---

2024/04/02  
AM 4:04  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 6.87 %  
HC : 390 ppm  
CO2 : 4.1 %  
O2 : 15.56 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.618  
AFR : 23.7  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

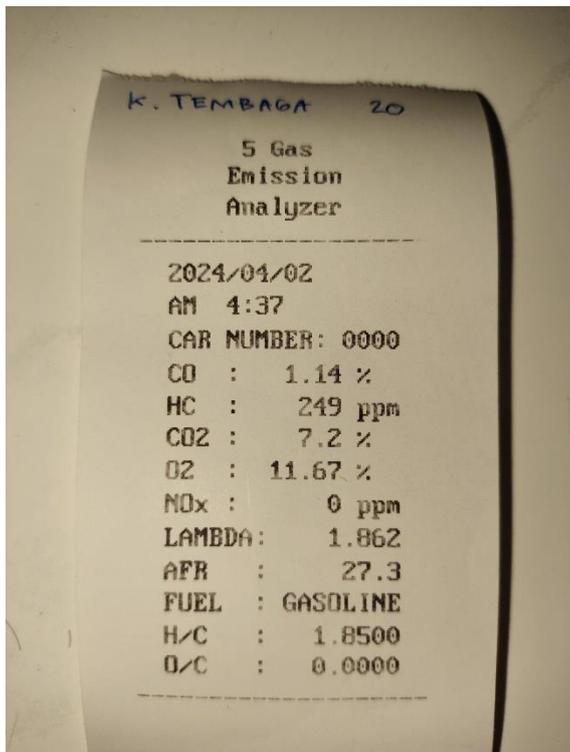
---

Printout hasil uji emisi gsab buang menggunakan pipa tembaga diameter 44mm

Menit 10



Menit 20



Menit 30

Tembaga 30  
5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 4:46  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 3.32 %  
HC : 342 ppm  
CO2 : 4.9 %  
O2 : 15.56 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 40

40  
5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 4:55  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 4.91 %  
HC : 328 ppm  
CO2 : 4.4 %  
O2 : 17.66 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.936  
AFR : 28.4  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 50

50

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 4:56  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 4.97 %  
HC : 285 ppm  
CO2 : 4.5 %  
O2 : 17.66 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.876  
AFR : 27.5  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

Menit 60

60

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

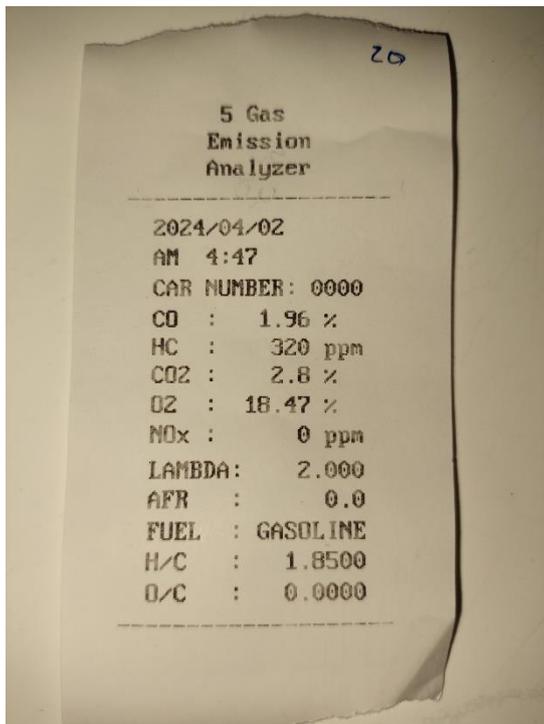
2024/04/02  
AM 4:57  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 5.23 %  
HC : 357 ppm  
CO2 : 3.7 %  
O2 : 19.45 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

Printout hasil uji emsi gsab buang menggunakan pipa tembaga diameter 48mm

Menit 10



Menit 20



Menit 30

30

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 5:00  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 1.28 %  
HC : 245 ppm  
CO2 : 3.4 %  
O2 : 18.96 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 40

40

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 5:05  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 4.51 %  
HC : 428 ppm  
CO2 : 4.4 %  
O2 : 17.66 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.936  
AFR : 28.4  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 50

40

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 5:10  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 5.58 %  
HC : 436 ppm  
CO2 : 4.4 %  
O2 : 17.66 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 1.936  
AFR : 28.4  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

Menit 60

60

5 Gas  
Emission  
Analyzer

---

2024/04/02  
AM 5:17  
CAR NUMBER: 0000  
CO : 4.23 %  
HC : 319 ppm  
CO2 : 3.7 %  
O2 : 19.45 %  
NOx : 0 ppm  
LAMBDA: 2.000  
AFR : 0.0  
FUEL : GASOLINE  
H/C : 1.8500  
O/C : 0.0000

---

## DAFTAR RIWAYAT HIFUP



### **DATA PRIBADI**

Nama : Fadly Andriansyah Batubara  
NPM : 1907230128  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan 19 April 2001  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Belum Kawin  
Alamat : Jl. Madrasah II  
    Kecamatan : Deli Tua  
    Kabupaten : Deli Serdang  
    Provinsi : Sumatra Utara  
Nomor Hp : 081277679376  
E-mail : andriyansafadly@gmail.com  
Nama Orang Tua  
    Ayah : Abdul Karim Batubara  
    Ibu : Dewi Agusniar Tanjung

### **PENDIDIKAN FORMAL**

2007-2013 : SDN 060927 Medan  
2013-2016 : SMPN 36 Medan  
2016-2019 : SMK Swasta Multikarya  
2019-2024 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara